This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

KF
23940
NEDL TRANSFER
HN 5KP5 9

KF 23940

Harvard College Library

Gratis.

EXTRAIT

DU

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

(Bruxelles)

Tome XVII — 1903

LE VOLCANISME

PAR

le Baron O. VAN ERTBORN

NOUVELLE THÉORIE DE L'EXPLOSION VOLCANIQUE

basée sur la combinaison des vues de M. O. van Ertborn
avec les expériences et thèses de MM. A. Gautier et A. Brun et avec la théorie de M. A. Stübel

PAR

E. VAN DEN BROECK

BRUXELLES

HAYEZ, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

112, rue de Louvain, 112

Mai 1903

~~Gest 5509.63.9~~

HARVARD COLLEGE
MAR 9 1907
LIBRARY.

Gratis.

EXTRAIT

DU

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

(Bruxelles)

Tome XVII — 1903

LE VOLCANISME

PAR

le Baron O. VAN ERTBORN

NOUVELLE THÉORIE DE L'EXPLOSION VOLCANIQUE

basée sur la combinaison des vues de M. O. van Ertborn
avec les expériences et thèses de MM. A. Gautier et A. Brun et avec la théorie de M. A. Stübel

PAR

E. VAN DEN BROECK

BRUXELLES

HAYEZ, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

112, rue de Louvain, 112

Mai 1903

KF 23940

EXTRAIT
DU
BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE
DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

Tome XVII. — Année 1903. — Procès-Verbaux, séance du 20 janvier 1903, pp. 6-37.

LE VOLCANISME

PAR

le Baron VAN ERTBORN

(*Résumé de la Note publiée aux* MÉMOIRES.)

Dans sa communication, intitulée : LE VOLCANISME, M. *O. van Ertborn* passe d'abord en revue les diverses hypothèses auxquelles a donné lieu la recherche du mécanisme éruptif volcanique.

Faisant remarquer qu'aucune d'elles ne donne de solution satisfaisante, il rappelle que M. le professeur Bonney a dû se borner à émettre l'espoir qu'une *loi physique nouvelle* en fournira l'explication.

Si la cause initiale de l'état de fusion du magma est encore obscure, dit M. van Ertborn, on ne saurait tout au moins nier que deux causes fort différentes doivent provoquer le mouvement ascensionnel des déjections et laves volcaniques : la force expansive de la vapeur d'eau et des gaz, d'une part, et l'action de la pesanteur, d'autre part.

Ce doit être sous forme de contre-pression interne, ajoute-t-il, que la pesanteur agit pour faire se déverser lentement les laves sur les flancs de la montagne.

Le professeur Bonney s'exprime ainsi à ce sujet :

« L'écoulement souvent régulier, et pour un temps continu, des laves par une fissure et leur intrusion dans les couches, font naître l'idée que la masse fluide est expulsée, comme nous le ferions en comprimant un tube compressible contenant de la couleur à l'huile. »

L'orateur passe ensuite à un examen critique des idées émises par M. Stanislas Meunier au sujet du processus volcanique, et il ne peut admettre certains côtés des vues de ce savant, qui considère le volcan comme un véritable appareil hydraulique, faisant accomplir à l'eau un jeu de circulation verticale. Il souligne toutefois avec intérêt la phrase suggestive du savant professeur du Muséum, dans laquelle celui-ci montre l'action de l'eau interne : eau de carrière des roches, vaporisée et s'incorporant par occlusion dans le magma, de manière à le rendre FOISONNANT.

C'est ce dernier phénomène d'injection gazeuse interne que M. van Ertborn se borne à emprunter à la thèse de M. Stanislas Meunier qui, au point de vue des origines de cette eau, déclare que son opinion, « fondée sur plusieurs ordres de considérations, lui fait admettre que le volcan est alimenté en eau par l'*écroulement*, le long des failles souterraines, de blocs pourvus de l'eau d'imprégnation qui caractérise les assises les moins profondes de la croûte du globe ».

Ce serait, toujours d'après M. Stanislas Meunier, uniquement l'*eau de carrière* contenue dans les roches effondrées qui, en se volatilisant, abaisserait le point de fusion des roches et leur communiquerait la propriété foisonnante qui les rend aptes à devenir éruptives.

Mais, sur cette base, M. Stanislas Meunier conclut, à tort, signale M. van Ertborn, que l'ascension des laves atteignant, comme à l'Etna, parfois 3 000 mètres d'altitude, *est en tout point comparable à l'extravasement d'une eau gazeuse ou de vin de Champagne hors de la bouteille restée droite, mais dont le bouchon a été brusquement enlevé.*

M. van Ertborn ne peut se rallier à une pareille conclusion sur le jeu du mécanisme éruptif et surtout d'écoulement normal des laves. Il fait remarquer que cet écoulement est toujours *lent* et ne se produit pas brusquement. Quelle serait donc, dans l'hypothèse présentée, la force souterraine rendant si continu parfois et si calme souvent ce déversement, que l'image du tube à couleur rend très exactement?

C'est parce qu'il se rend compte de la difficulté de faire intervenir la circulation, à grande profondeur vers la base de l'écorce terrestre, des eaux souterraines d'infiltration, que M. Stanislas Meunier ne fait appel qu'à l'eau de carrière.

M. van Ertborn admet les effondrements préconisés par le savant professeur du Muséum et la production d'eau de vaporisation avec explosion, mais il a peine à croire que l'eau de carrière, à elle seule, puisse suffire pour produire les actions invoquées. Il se demande si les éléments constitutifs des roches ne pourraient pas fournir l'un des gaz générateurs de l'eau dont il faut invoquer de si énormes quantités.

M. van Ertborn, cependant, reste nettement partisan de l'action parallèle des eaux marines et des eaux de circulation souterraine, voire même des eaux fossiles, ou vestige des mers anciennes, restées incluses dans les roches.

Se référant aux phénomènes qu'ont montrés les événements de la Martinique, M. van Ertborn conteste absolument le bien fondé de la théorie d'une action semblable à celle de la bouteille de champagne. Le débouchage brusque et latéral, le 8 mai, de la cheminée du Mont-

Pelée amena des manifestations explosives et nullement des coulées de lave. L'explosion eut lieu par une fissure latérale et non par le cratère, et ce fut seulement *sept mois plus tard,* soit vers la mi-décembre 1902, que la lave apparut au sommet de la cheminée, dans le cratère terminal et en coulée lente.

Il en résulte, dit M. van Ertborn, que *le caractère explosif n'a aucun rapport avec les épanchements de lave,* et il semble que ce soit seulement un phénomène de contre-pression interne, dû à la pesanteur, qui a permis à la lave de s'épancher au dehors.

C'est, d'après M. van Ertborn, au « foisonnement » ayant réduit dans des proportions considérables la *densité* de la colonne de lave qui se trouve incluse dans la cheminée, qu'il faut attribuer le refoulement du contenu de celle-ci par la contre-pression des masses, plus denses, des régions avoisinant sa base.

« La détente brusque, le débouchage instantané ne peuvent donc rendre compte de l'épanchement lent d'une coulée de lave, à l'instar de la couleur à l'huile sortant d'un tube compressible. Il faut, pour produire ce dernier phénomène, une pression lente et continue, une action qui assure la persistance du phénomène pendant un laps de temps prolongé. »

M. van Ertborn ajoute ensuite :

« En tenant compte du *foisonnement*, qui amène la *diminution de densité,* le phénomène serait identique à celui qui se produit dans l'appareil élévateur d'eau, nommé « compresseur à air » (1).

» Cet appareil est basé sur le foisonnement de l'air et de l'eau, diminuant la densité de cette dernière par mélange. (Pl. *A*, fig. 1 et 2.)

» L'air comprimé, insufflé par le bas dans une colonne d'eau, élève celle-ci à une hauteur considérable. L'appareil se compose d'une pompe à air, d'un réservoir à air comprimé G pour régulariser le débit, d'un tuyau à air *t* (voir pl. *A*, fig. 1) recourbé à sa partie inférieure, amenant l'air comprimé au pied du tuyau H, destiné à élever le liquide.

» La pompe à air étant mise en marche, un manomètre fixé sur le réservoir indique la pression. Supposons que celle-ci doive atteindre huit atmosphères pour rompre, dans le cas qui nous occupe, la résistance due à l'inertie de la colonne d'eau remplissant le tuyau destiné à lui servir de conduite d'ascension.

» Il se produit tout à coup *une brusque secousse, une espèce de détonation,* et l'appareil se met à fonctionner. A l'instant, la pression tombe

(1) Désigné aussi sous le nom d'« émulseur », « pompe Mammouth », etc.

Fig. 1. Fig. 2.

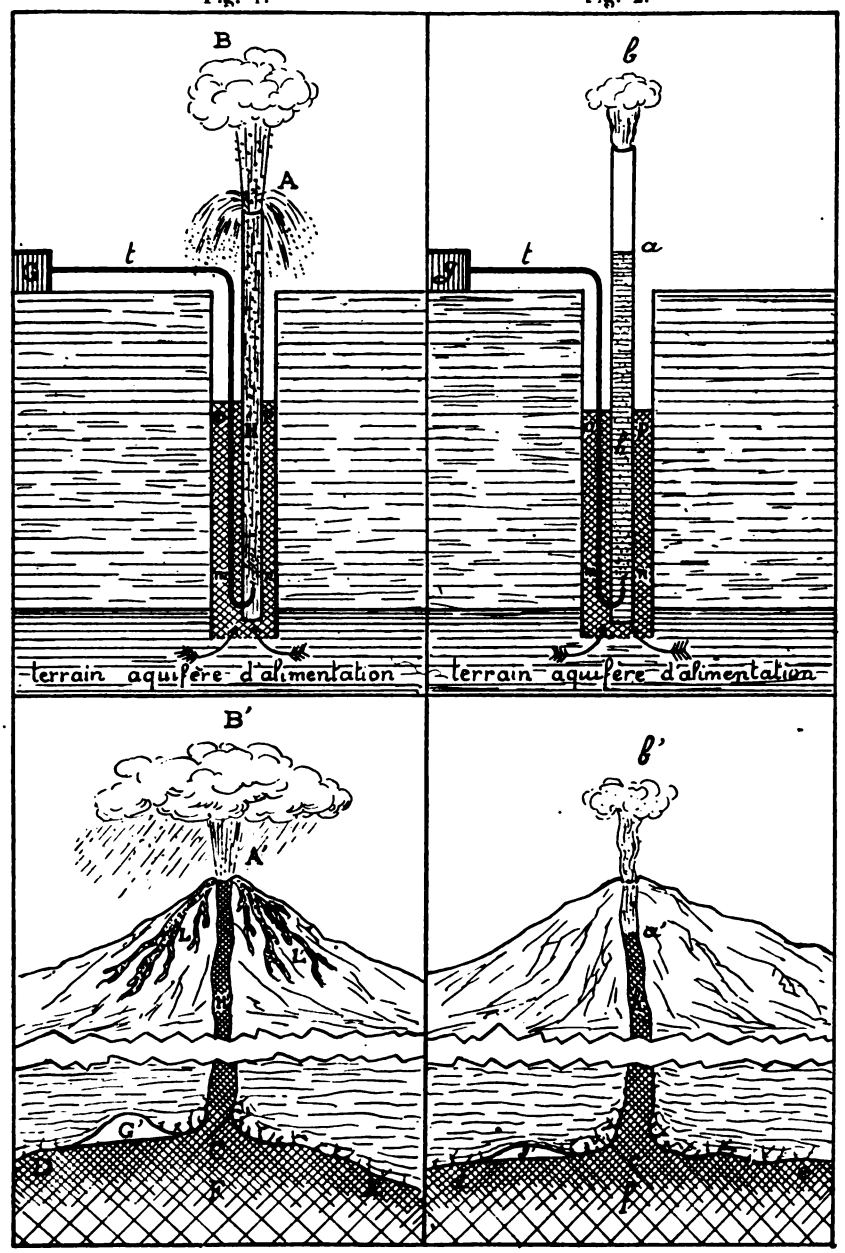

Fig. 3. Fig. 4.

LE COMPRESSEUR A AIR ET LE VOLCAN.

environ de moitié et l'ascension de l'eau continue à se produire pendant tout le temps que fonctionne la pompe à air.

» L'eau et l'air se sont mis à *foisonner*, constituant un mélange de densité beaucoup moindre que celle de l'eau, densité qui, par exemple, ne sera que de 0.33 si, par litre d'eau, nous envoyons dans le liquide 2 litres d'air.

» L'appareil n'est nullement un objet de cabinet de physique; il est entré dans la pratique, et les Américains en ont construit qui débitent 15 mètres cubes par minute.

» L'appareil provoque donc le *foisonnement de l'eau et de l'air;* mais ce n'est pas celui-ci qui élève l'eau; c'est (voir fig. 1) la colonne *mn op* extérieure au tuyau d'ascension, et dont la densité est restée 1.00, qui presse sur la base de la colonne interne, dont la densité est 0.33, et la refoule.

» Il faudra donc, dans le cas cité plus haut, une colonne trois fois plus haute, de densité 0.33, pour faire équilibre à la colonne *mn op*, dont la densité est restée 1.00.

» Si nous coupons le tuyau d'ascension en A, en dessous du niveau piézométrique du mélange d'eau et d'air, il y aura, d'une part, d'abord jet violent, puis déversement de l'eau en A, et celle-ci, par le fait de la pesanteur, fera cascade tout autour du tube d'amenée. D'autre part, l'air continuera à s'élever, produisant en B un souffle très sensible. Si nous pouvions colorer cet air, comme les hydrologues colorent les sources, nous verrions en B un panache en forme de pin-parasol, comme on en voit au-dessus du cratère d'un volcan en éruption. (Voir fig. 3, en B'.)

» Si l'on diminue ensuite la venue d'air, la densité de la colonne ascendante augmentera; elle ne pourra plus atteindre la partie supérieure du tuyau (voir fig. 2); l'air se dégagera alors en *a*, produisant à ce niveau un léger bouillonnement, tout comme il s'en produit un dans un volcan lorsque la lave, par faute de pression, n'arrive pas à être déversée par le cratère et se maintient au-dessous du niveau de celui-ci (fig. 4, en *a'*).

» Si nous remontions le pied du tuyautage en *op* (fig. 1), tout en le maintenant plongé dans l'eau, les phénomènes ne se reproduiraient plus. C'est donc bien la *contre-pression* qui, en *mn* (fig. 1 et 2), provoque l'ascension du liquide.

» L'appareil à air comprimé est donc un volcan en miniature, où l'air injecté remplace la vapeur d'eau surchauffée et où l'eau et les gaz mêlés dans le tube d'ascension remplacent les laves et les bulles de

la cheminée volcanique, présentant absolument les mêmes phénomènes que les volcans.

» L'eau dans le tuyautage du compresseur, la lave dans la cheminée du volcan, s'élèvent donc, non pas comme le vin de Champagne entraîné par le dégagement du gaz, *mais bien sous l'action de la pesanteur* et des contre-pressions internes, phénomène absolument différent.

» Il paraît cependant étrange, à première vue, que la lave puisse s'élever à 3 000 mètres et plus, par la seule action de la pesanteur. Il ne peut y avoir cependant d'autre cause. »

Il suffit de comparer aux figures 3 et 4, représentant le dispositif volcanique, le dispositif artésien, muni du compresseur à air, en état de charge, soit très accentuée (fig. 1), soit minime (fig. 2) pour saisir immédiatement le bien fondé du principe d'assimilation proposé par M. van Ertborn.

Dans la figure 3, le foisonnement produit en C par l'action des roches disloquées avoisinantes, au contact du magma igné, modifie et diminue fortement la densité de la colonne lavique H′, rendue ascensionnelle grâce aux contre-pressions latérales et sous-jacentes des régions non foisonnantes et restées denses : D E F. Il y a déversement lavique en A′ au bord du cratère et coulée en L L′; mais, tout d'abord, il y a vive projection en B′, tout comme dans le choc initial ayant violemment projeté l'air en B, dans le cas du compresseur de la figure 1. Il est encore permis, pense M. van Ertborn, d'admettre l'existence de dispositifs souterrains, tels que G′ : cavités se remplissant de vapeur et de gaz, résultant du foisonnement de la région D E F voisine de C, dispositifs qui joueraient, jusqu'à un certain point, le rôle du réservoir compresseur G de la figure 1.

La figure 4, enfin, montre le cas du volcan sans caractère explosif, analogue à celui du compresseur (fig. 2) insuffisamment chargé d'air. Dans ce cas, le faible degré de foisonnement des roches de la région *c* et, adventivement, le minime développement des cavités gazeuses *g′* aidant à la compression des laves, n'ont pu déterminer dans la colonne lavique *h′* ni une contre-pression suffisante, ni un développement gazeux assez considérable pour amener l'ascension de la lave *a′* jusqu'aux orifices externes de déversement et, encore moins, pour produire le *choc explosif initial*, correspondant à l'explosion volcanique. Il n'y a alors que de faibles ruptures d'équilibre des tensions internes, restées insuffisantes, non seulement pour amener le processus explosif, mais encore pour permettre l'ascension complète et le *déversement* des laves.

En terminant son exposé, M. van Ertborn rejette, une fois de plus, toute thèse qui, comme celle de M. Stanislas Meunier, dans une certaine mesure, tend surtout à comparer le volcan à un simple appareil hydraulique, c'est-à-dire à un dispositif dans lequel l'eau joue un rôle plutôt passif et n'agit que par l'effet de sa pesanteur.

Dans les volcans, dit enfin M. van Ertborn, l'eau agit par la détente de sa vapeur, tout comme dans les machines, et à ce point de vue il y a une différence radicale entre les deux actions.

M. le *Président* remercie M. *van Ertborn* de son important exposé et donne ensuite la parole à M. *Van den Broeck* pour faire une communication relative au même sujet.

NOUVELLE THÉORIE
DE
L'EXPLOSION VOLCANIQUE

BASÉE SUR LA COMBINAISON DES VUES DE M. O. VAN ERTBORN AVEC LES EXPÉRIENCES ET THÈSES DE MM. A. GAUTIER ET A. BRUN ET AVEC LA THÉORIE DE M. A. STÜBEL

PAR

E. VAN DEN BROECK

Tout d'abord, je déclare être parfaitement d'accord avec M. van Ertborn pour admettre un parallèle très justifié, une véritable *identification* même, entre le principe des forces mises en jeu par les *compresseurs à air*, actuellement adaptés à un grand nombre de puits artésiens, et celui des causes qui provoquent, avec la montée des laves, les *explosions volcaniques*, avec projections de cendres, de vapeurs et émissions de laves.

Toutefois, M. van Ertborn, d'accord avec les errements suivis jusqu'à ce jour, admet le rôle essentiel de la *vapeur d'eau*, dégagée par les réactions internes survenant au contact d'infiltrations profondes, provenant soit des eaux de la mer, soit des eaux des nappes circulant au sein de l'écorce terrestre. Il considère que c'est l'injection interne, dans les laves, de cette vapeur d'eau, qui constitue le facteur auquel seraient dues la contre-pression interne, en même temps que la forte réduction de densité de la *haute colonne lavique* aboutissant à la bouche des volcans.

Tout en ne partageant pas les vues de mon confrère sur ce point spécial, je crois cependant que la *comparaison* que vient de faire M. van Ertborn, entre le processus d'éruption des volcans dits explosifs et l'action de projection des compresseurs à air des puits artésiens, est plus strictement exacte et mieux justifiée encore que ne le croit son auteur lui-même.

Mais ce n'est nullement *de l'eau*, vaporisée et surchauffée, qui monte et s'élève avec les laves dans la cheminée des volcans, et dont les vapeurs, sous haute tension, amèneraient la diminution de densité de la colonne visqueuse des laves, soumises aux pressions latérales des *réservoirs ignés sous-jacents*, d'une densité plus grande. Le facteur gazeux réclamé et obtenu au delà des espérances de M. van Ertborn pour l'application de la thèse du compresseur, nous allons le trouver dans un état d'abondance et de pression extraordinaires, et ce gaz, jouant le rôle de l'air des « compresseurs artésiens », c'est l'HYDROGÈNE!

Or, c'est précisément de tous les gaz celui qui, par sa légèreté et sa force ascensionnelle, est le plus apte à jouer le rôle d'*entraîneur* et d'*agent véhiculatoire* des laves dans lesquelles il a dû apparaître, en foisonnant, dans les régions inférieures de la colonne en fusion. Montant évidemment à l'état de bulles, fortement comprimées, surtout au début, par la double influence des réactions internes originaires et des nombreuses atmosphères de pression ambiantes existant dans les profondeurs de l'écorce terrestre, l'hydrogène foisonne en montant et se détend brusquement à son arrivée au jour, dans le fond ou à l'orifice du cratère, c'est-à-dire à la sortie du bain lavique expulsé des profondeurs. Amené au contact de l'air et soumis enfin à l'influence des *manifestations électriques* qui accompagnent si généralement les éruptions volcaniques, cet hydrogène qui, s'il n'était pas surchauffé et fortement comprimé, se contenterait de brûler paisiblement à l'air, se combine instantanément, sous forme explosive, avec l'oxygène atmosphérique et donne naissance au phénomène bien connu de la *reconstitution de l'eau*, en même temps qu'il y a projection et pulvérisation laviques. C'est donc *alors seulement* que l'eau *prend naissance* au sommet de la cheminée du volcan, comme parfois aussi dans ses bouches adventives et latérales, et on la voit s'élever de ces divers orifices sous forme de ces abondantes et colossales volutes de vapeurs tourbillonnantes et moutonnées, que l'image de toutes les grandes éruptions a popularisées, surtout comme aspect caractéristique de la phase d'activité des volcans à régime explosif.

Par refroidissement dans les couches élevées de l'atmosphère, une

partie de ces vapeurs se condensent et se résolvent instantanément en ces pluies torrentielles, diluviennes, caractéristiques également des éruptions de l'espèce, et si foudroyantes par leur soudaineté et leur intensité qu'elles deviennent elles-mêmes un nouvel élément cataclysmique et de dévastation, venant ajouter ses ravages à ceux du feu.

Déjà, la notion très précise était depuis longtemps obtenue par l'examen microscopique des laves, des scories, des ponces, des lapilli, des sables et des cendres volcaniques, que l'*eau* ne devait entrer pour rien dans le processus de formation de ces matières, dont la plupart consistent simplement en débris, diversement calibrés, de projections émanant de véritables *explosions* de masses laviques, brisées ou pulvérisées. Cette constatation impliquait déjà le rôle prépondérant *des gaz inclus dans la lave* et se détendant brusquement à leur arrivée au jour.

La structure *vacuolaire* de certains produits volcaniques, dont cette écume des niveaux supérieurs des laves acides, qui est représentée par les *ponces*, fournit un exemple frappant, cette structure montre à l'évidence — par la trace ou « moulage » ainsi conservé de ces inclusions gazeuses, dont aucun caractère non plus ne dénonce un processus dû à la vapeur d'eau — combien l'élément gazeux est prépondérant, surtout vers les régions supérieures et d'arrivée au jour des masses laviques de la cheminée du volcan.

Mais d'où vient ce *gaz hydrogène* exhalé des profondeurs; quelle est son origine et sur quoi peut-on fonder l'affirmation, émise plus haut, qu'à son arrivée au jour, cet hydrogène, par sa combinaison avec l'oxygène de l'air, RECONSTITUE *de l'eau? Quelle eau* se trouve ainsi reconstituée, et n'est-ce donc pas là un retour indirect aux vues régnantes repoussées plus haut, d'après lesquelles les eaux marines, ou les eaux d'infiltration de l'écorce terrestre, ou bien encore l'eau « de carrière » auraient à jouer, dans d'autres conditions peut-être, le rôle primordial qui leur avait été jusqu'ici attribué?

La réponse — et une réponse péremptoire — à toutes ces questions est fournie par les magistrales et fécondes études du savant chimiste français M. *Armand Gautier*, de l'Institut, qui vient d'être amené tout récemment, à la suite d'une série de recherches sur l'hydrogène atmosphérique, publiées tant dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris* que dans les *Bulletins de la Société chimique de Paris*, à exposer les résultats inattendus de ses expériences, qui l'ont mis à même, finalement, de formuler une *théorie nouvelle des volcans*.

Cette théorie, à la fois des plus simples et des plus saisissantes, vient

remarquablement se combiner avec celle de M. van Ertborn telle qu'elle est ici amendée et complétée dans la genèse des éléments gazeux qu'elle invoque comme base de l'assimilation qui vient d'être proposée.

Il convient d'ajouter qu'un autre observateur des plus sagaces, M. *A. Brun*, de Genève, en partant d'une étude visant spécialement la température des laves et le point de fusion de leurs divers matériaux, et en poursuivant, parallèlement aux recherches de M. Gautier, des expériences du même genre, était de son côté arrivé aux mêmes résultats dans leur application à la théorie de l'éruption volcanique dite explosive.

Il est réellement remarquable que ces travaux, poursuivis indépendamment les uns des autres, aient abouti aux mêmes conclusions, et c'est là une garantie de leur haute valeur. Les conclusions de M. A. Brun se trouvent énoncées dans le numéro de juin 1902 des *Archives des Sciences physiques et naturelles* (1), développant les mêmes vues exactement que celles dont le principe se trouvait déjà énoncé le 22 octobre 1900 par M. A. Gautier dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris* (2) et qui, reprises dans les *Comptes rendus* des 14 et 28 janvier 1901 (3) et précisées ultérieurement (4), ont abouti au très suggestif exposé présenté à l'Institut par M. A. Gautier en décembre 1902 et qui n'a toutefois paru que dans le numéro du 5 janvier 1903 (5). Dans cet article, la grande portée des recherches et constatations du savant chimiste français pour la genèse du processus volcanique, spécialement dans ses manifestations explosives, est mise en relief, ainsi qu'il convient. Ces vues si révélatrices se trouvent ainsi toutes prêtes, par l'adjonction que vient leur apporter la thèse, un peu amendée, de M. van Ertborn, à illuminer d'un jour entièrement nouveau l'obscur problème du processus éruptif volcanique; elles aboutiront, j'espère pouvoir le démontrer ultérieurement, à des résultats d'un ordre plus général encore.

(1) A. Brun, *Notes pouvant servir de base à une théorie de l'explosion volcanique.* (Arch. des Sc. phys. et nat., 4e période, t. XIII, no de juin 1902, pp. 596-601.)

(2) A. Gautier, *Origines de l'hydrogène atmosphérique.* (C. R. Acad. des Sciences de Paris, t. CXXXI, no 17, 22 octobre 1900, pp. 647-652.)

(3) A. Gautier, *Produits gazeux dégagés par la chaleur de quelques roches ignées.* (C. R. Acad. des Sciences de Paris, t. CXXXII, no 2, 14 janvier 1901, pp. 58-64.)

(4) A. Gautier, *Production de l'hydrogène dans les roches ignées. — Action de la vapeur d'eau sur les sels ferreux.* (Ibidem, no 4, 28 janvier 1901, pp. 189-194.)

(5) A. Gautier, *A propos de la composition du gaz des fumerolles du Mont-Pelée. — Remarques sur l'origine des phénomènes volcaniques.* (Ibidem, t. CXXXVI, no 1, 5 janvier 1903, pp. 16-20.)

Je compte reprendre et rédiger à loisir pour les *Mémoires*, en le complétant, l'exposé détaillé des recherches et des travaux de MM. Gautier et Brun, car je crois d'autant plus utile de faire l'analyse aussi complète que possible de leurs travaux, que ceux-ci comprennent, du moins en ce qui concerne M. Gautier, un très grand nombre d'articles épars, depuis 1900, dans divers recueils comprenant notamment six gros volumes des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*. Les géologues me sauront gré, j'espère, de réunir à leur intention, dans le travail projeté, les données extraites de ces nombreux travaux, qui sont appelées à les intéresser, d'autant plus, il ne faut pas se le dissimuler, qu'ils donneront lieu à de sérieuses controverses et discussions.

Les quelques données préliminaires qui vont suivre et qui sont tirées des dernières publications du savant chimiste français, suffiront pour montrer l'importance des résultats obtenus par MM. Gautier et Brun.

C'est à l'occasion des données fournies par M. *Moissan* sur la composition des gaz provenant des fumerolles du Mont-Pelée (1) que M. Gautier a tenu à rappeler l'identité de nature des gaz volcaniques avec ceux que, au cours de ses expériences de laboratoire de ces dernières années, il avait obtenus comme émanations, sous l'influence de la température portée au rouge naissant, des roches cristallines, telles que les granits, porphyres, ophites, lherzolithes, etc. Placées dans les conditions voulues d'élévation de température, ces roches ont fourni, outre une très notable proportion d'eau, — qui n'est nullement de « l'eau de carrière », mais une *eau de constitution*, — une proportion assez forte de gaz, pouvant s'élever jusque seize fois le volume de certaines des roches expérimentées.

Les bombes, lapilli et cendres projetés par le Mont-Pelée sont formés d'une andésite dont les inclusions, à base d'hyperstène, contiennent de fortes proportions de silicates ferro-magnésiens. Ce sont là précisément les types des roches « cristalliniennes » profondes qui se sont montrées, dans le laboratoire de M. Gautier, les plus aptes, par simple influence de la chaleur, à fournir, en même temps qu'une forte proportion d'eau de constitution, — réapparaissant d'ailleurs à chaque application de la chaleur, — un volume considérable de gaz : les mêmes, qualitativement, que ceux des fumerolles du Mont-Pelée, savoir : l'hydrogène,

(1) Henri Moissan, *Sur la présence de l'argon, de l'oxyde de carbone et des carbures d'hydrogène dans le gaz de fumerolles du Mont-Pelée, à la Martinique.* (C. R. de l'Acad. des Sciences de Paris, t. CXXXV, n° 24. 15 décembre 1902. pp. 1085-1088.)

l'acide carbonique, l'oxyde de carbone, le méthane ou grisou, et encore quelques gaz accessoires (azote, argon, etc.).

Mais, dans ces expériences, c'est surtout l'HYDROGÈNE qui, avec l'acide carbonique, venant ensuite comme degré d'abondance, est dégagé en *quantité prépondérante*, comme le montrent certains granits, d'où cet élément gazeux a été dégagé à proportion de plus de 77 °/₀ des gaz produits.

L'hydrogène, d'ailleurs, ne résulte pas seulement des émanations directes gazeuses de la roche sous l'influence de la chaleur au rouge; il est encore produit corrélativement par la réaction chimique qui, faisant apparaître l'*eau de constitution* de la roche surchauffée, la fait aussi se décomposer en ses deux éléments dont l'un, l'oxygène, se combine avec les silicates ferreux de la roche (péridot, hyperstène, pyroxène, biotite, augite, etc.), qui le fixent en se transformant en silicates ferriques ou ferroso-ferriques, tandis que l'hydrogène, *libéré*, s'ajoute à celui émanant directement à l'état gazeux de la roche portée au rouge.

Il semblerait que la très infime proportion d'eau de constitution que la chaleur parvient à faire dégager des roches « cristalliniennes » ne puisse amener des réactions bien importantes. Et cependant il n'en est rien, comme on va le voir.

Les expériences de M. Gautier ont montré que 1 kilogramme de granit porté au rouge produit 10 grammes d'eau, dont 7 à 8 grammes vers le rouge, et produit aussi un volume de gaz égal à sept ou huit fois celui de la roche. Un mètre cube de granit, pesant 2 664 kilogrammes, donnera donc, dit M. Gautier, 26 640 litres d'eau; *un kilomètre cube* en fournira donc 26 640 000 tonnes, soit plus de 26 millions de mètres cubes. Les gaz directement dégagés de ce kilomètre cube de roches échauffées produisent, à leur tour, 7 milliards de mètres cubes de gaz combustibles, qui, produits à la température du rouge, occupent alors un volume triple (1).

(1) Une réflexion, d'ordre restrictif, s'impose ici, au sujet de l'application du raisonnement de M. Gautier à des volumes rocheux aussi considérables que des kilomètres cubes de roches cristalliniennes qu'affecteraient d'importants phénomènes d'élévation de température. Une forte et uniforme élévation de température d'une masse profonde telle qu'*un kilomètre cube* de roches cristalliniennes ainsi influencé ne peut guère se comprendre sans trop de difficultés, semble-t-il, que s'il s'agit de masses cristalliniennes s'étendant sur *de nombreux kilomètres d'étendue souterraine,* mais avec des épaisseurs affectées relativement *peu considérables*. Il ne semble pas que la chaleur émanant de masses ignées mises, par glissement ou par effondrement, en contact avec des roches cristallines, puisse affecter celles-ci sur des

Que l'on juge de l'effort colossal des pressions internes ainsi obtenues par le simple échauffement des roches; n'y trouve-t-on pas réellement, comme le préconise M. van Ertborn, la merveilleuse amplification du dispositif des « compresseurs à air » prêt, sous cette forme grandiose, à faire foisonner le gaz léger injecté dans la masse lavique de toute cheminée volcanique voisine et à en diminuer en même temps la *densité,* de manière, grâce aux *contrepressions internes* développées tant par cette différence de densité que par l'action élévatoire et propulsive des gaz injectés, à en forcer irrésistiblement l'ascension jusqu'aux cratères et bouches d'émission superficielles?

Mais revenant aux gaz exhalés *directement* par le granit et tablant sur la proportion de 70 % d'hydrogène que contiennent ces gaz pour le dégagement fourni par ce type de roche, on arrive, avec M. Gautier, à conclure que 1 mètre cube de granit fournira encore 700 litres d'hydrogène. Le kilomètre de roche dont la production d'eau de constitution a été calculée tantôt, comme s'élevant à 26 millions de mètres cubes, fournira encore comme résultat de ses 7 milliards de mètres cubes de gaz, 5 293 millions de mètres cubes d'hydrogène. Arrivé à la surface de la colonne lavique du volcan et par combinaison avec l'oxygène de l'air, cet hydrogène donnera naissance au même volume de vapeur d'eau. Celle-ci, à raison de $0^{gr},806$ par litre, constituera ainsi un apport supplémentaire de 4 266 000 tonnes d'eau. Avec les 26 millions de tonnes obtenus par dégagement de l'eau de constitution, le *kilomètre cube* de roche granitique aura ainsi produit environ *31 millions de tonnes d'eau.* « C'est, dit M. Gautier, la masse d'eau qui coule en

épaisseurs très fortes. Il suffit, pour s'en convaincre, d'examiner ce qui se passe à l'extérieur du volcan, alors que la lave se montre si peu conductrice qu'elle est déjà figée et refroidie à la surface, tandis que, intérieurement, la coulée conserve, pendant des périodes prolongées, sa température de fusion.

Des phénomènes pouvant se produire dans quelques mètres ou décamètres d'épaisseur de granit et s'appliquer aisément à quelques centaines de mille mètres cubes plus ou moins « latéraux » de cette roche, peuvent ne plus se trouver justifiés si l'on voulait étendre le calcul à des masses profondes qui seraient affectées sur des épaisseurs « kilométriques », voire même simplement « hectométriques ».

Il est hors de doute d'ailleurs que c'est bien avec l'interprétation rationnelle ci-dessus que l'entend M. Gautier, lorsqu'il étend à un *kilomètre cube* de granit les résultats fournis expérimentalement par l'échauffement au rouge de minimes quantités de la même substance. Pendant l'impression de la présente note, ceci m'est d'ailleurs confirmé par l'auteur, qui m'écrit que, quand il parle d'un kilomètre cube de granit, il ne veut en effet nullement dire un cube d'un kilomètre de côté, mais vise le *volume* d'un kilomètre cube, s'appliquant à une couche aussi mince qu'on voudra, pourvu qu'elle soit assez étendue.

douze heures à Paris dans le lit de la Seine, avec le débit moyen de 694 mètres cubes à la seconde (1). »

Voici comment conclut la note du 5 janvier 1903 de M. Gautier :

On voit que pour expliquer l'origine de l'eau des volcans, la nature des gaz qu'ils rejettent, et la violence des phénomènes éruptifs, il n'est nécessaire, ni de faire intervenir la pénétration des eaux de la mer jusqu'au feu central, ni d'invoquer les réactions internes qui peuvent encore s'y produire, réactions fort hypothétiques, car elles ont probablement atteint leur état d'équilibre définitif depuis les milliers d'années que les matériaux terrestres sont portés à l'incandescence. Mais il suffit, pour qu'il se produise des éruptions gazeuses d'eau et de gaz combustibles caractérisant les volcans, que les dépôts de roches sédimentaires, toujours décroissants sur les continents et croissants sur le fond des mers, se répartissent inégalement à la surface du globe et que les formes internes se modifient elles-mêmes lentement ou brusquement sous l'effet de ces pressions, pour que les strates profondes se réchauffent de quelques centaines de degrés au contact des parties centrales encore fondues qui pénètrent à travers toutes leurs fissures.

Le dégagement des gaz volcaniques avec leur composition et leur pression formidable sera la conséquence nécessaire de ce simple réchauffement.

De même que j'ai cru devoir, dans l'intérêt même de l'ingénieuse hypothèse émise par M. van Ertborn, en modifier certaines données, et me suis trouvé amené à remplacer son facteur essentiel *vapeur d'eau* par l'élément *gaz hydrogène* et autres gaz combustibles, de même aussi

(1) Un cube de 1 kilomètre de côté n'est en somme, dit M. Gautier, qu'une masse bien petite dans l'immense volume des couches terrestres, ou vis-à-vis du cubage des Alpes, ou simplement comparé à quelques-uns des *effondrements historiques,* tels que celui du Grand-Ruun, près du golfe de Cutch, dans l'Inde, qui, en 1819, engloutit dans la mer *un volume de plus de 20 kilomètres cubes.*

Cela est exact assurément, mais si l'engloutissement dans la mer de 15 ou 20 kilomètres cubes de roches est peu de chose dans la grandeur de certains phénomènes d'ordre tectonique, il est beaucoup moins facile d'imaginer que de pareils cubes puissent être, *dans toute leur épaisseur,* portés aux températures élevées nécessaires aux réactions dévoilées par les expériences de laboratoire. Pour y arriver, il faut laisser entièrement de côté, comme c'est d'ailleurs dans la pensée de M. Gautier, la notion de volumes cubiques de forte épaisseur, pour n'appliquer le raisonnement qu'à des volumes dont l'une des surfaces aurait un développement considérable et dont l'épaisseur affectée resterait relativement minime : tels les volumes adjacents aux surfaces souterraines de contact, de faille, de glissement, de chevauchement, etc., soit précisément là où, en effet, ont le plus de chances de se produire, tant les phénomènes de décollement, d'effondrement, etc., que les phénomènes calorifiques dus au frottement ou à l'influence de voisinage de roches sous-jacentes, à températures élevées, ou même ignées.

je compte ultérieurement chercher à apporter certains correctifs à l'exposé des considérations touchant les éléments d'*ordre tectonique* ou plutôt géomorphologique, invoqués par M. A. Gautier, pour expliquer les phénomènes d'élévation de température qui doivent être l'occasion des dégagements gazeux et aqueux des roches profondes cristallines.

Pour le moment, je me bornerai à objecter que l'*extrême lenteur* des phénomènes d'ablation continentale et de sédimentation marine qui pourraient, par leur importance, influer comme source de modification de pression sur l'écorce terrestre et réagir dans les profondeurs pour y amener des modifications d'équilibre, n'est guère favorable à ce que seuls de tels facteurs puissent être mis en corrélation avec l'histoire et avec l'évolution, parfois très rapide, des manifestations volcaniques.

A cela M. Gautier pourrait répondre que cette lenteur est cependant conciliable, jusqu'à un certain point, avec l'évolution si brusque des phénomènes volcaniques. Ceux-ci, en effet, ne se produisent que quand l'action des gaz réactionnels a acquis une pression suffisante pour provoquer les phénomènes d'émission ou de projection au dehors. Le phénomène peut être lent et continu dans sa cause, tout en nous surprenant par sa brusquerie, ses manifestations ne nous étant perceptibles que par la destruction de certains obstacles à l'expansion des fluides et des matières internes.

Il y aurait toutefois à fournir, comme motifs originaires des phénomènes calorifiques invoqués, bien d'autres facteurs, appelés à agir plus énergiquement sur les modifications d'équilibre interne des compartiments et voussoirs de l'écorce terrestre pouvant entrer en activité de mouvement et provoquer, en profondeur, les phénomènes de réchauffement. L'étude de ce point de vue, qui paraît pouvoir être traitée comme un corollaire confirmatif des vues de M. Stübel, sera reprise ultérieurement et je compte développer tout spécialement l'examen de cette question dans le mémoire destiné à amplifier la présente communication. Mais, dès aujourd'hui, je tiens à faire remarquer que l'ensemble de vues nouvelles qui se basent, d'une part, sur les recherches et expériences de MM. Gautier et Brun, d'autre part, sur le processus d'action des compresseurs à air des puits artésiens, évoqué par M. van Ertborn, s'applique également bien à n'importe laquelle des vues générales que l'on pourrait adopter pour la genèse et la constitution de l'écorce terrestre dans ses rapports avec les magmas en fusion.

Quelques remarques complémentaires vont brièvement en fournir la preuve.

Le géologue qui, malgré tant de bonnes raisons à opposer à ces vues, est encore partisan d'un feu central communiquant *directement* avec les cheminées volcaniques, et qui considère l'écorce terrestre comme une masse dépourvue de foyers périphériques et subissant, dans toute son épaisseur, à la façon de la couche corticale d'une pomme ridée, les effets et les plissements de la contraction multiséculaire, interprète donc cette écorce comme ayant continué jusqu'à nos jours à subir, *dans toute sa masse*, une série d'efforts tangentiels ayant fait coïncider avec les plis dus à la contraction la localisation d'immenses fractures et failles traversant de part en part ladite écorce.

La figure classique ci-après (1) représente la synthèse de ce système. On y voit le pli, fracturé et faillé, séparer une région haute d'une région basse, différenciation qui est le résultat de l'action tectonique qui a amené le pli ici représenté comme ayant affecté tout l'ensemble de l'écorce terrestre entourant un noyau central igné, mais qui, il importe de le remarquer, peut aussi ne représenter qu'une *fraction de l'épaisseur* de cette écorce, fraction mise en contact par-dessous, soit avec une zone ignée, telle qu'un des foyers périphériques les plus supérieurs du système Stübel, soit avec une masse ignée unique, circumcentrale, entourant un noyau de constitution quelconque.

Par suite tout simplement des altitudes inférieures de la dépression, celle-ci est envahie par les eaux marines, ou autres, qui s'y accumulent en *a a'*, tandis que la région haute *b b'* représentera la section transversale du pli, qui se prolonge (normalement au dessin) sous forme d'une chaîne montagneuse côtière ou littorale. Les *cassures* alors, principalement réunies d'après les lois de la mécanique, sur le flanc abrupt *C*, serviront d'amorce et de guide tout indiqués à l'intrusion des laves et du magma fluide *D*, lesquels, arrivés au jour en *d*, *d'* et *d''*, y créeront des exutoires du réservoir igné *D*, c'est-à-dire des volcans et des bouches éruptives.

(1) Décalqué, dans ses éléments principaux, d'après le tracé classique que rééditent l'un après l'autre divers manuels, le dessin ci-après présente le manque de proportion habituel des figures schématiques de ce genre. En effet, par rapport à l'épaisseur de la croûte terrestre, qui doit être évaluée à plus de 60 kilomètres, la profondeur des mers, s'étendant en *a a'*, et la hauteur de la chaîne montagneuse dont les sommets sont en *b b'* se trouvent considérablement exagérées. Mais la mise au point du dessin d'après des proportions normales en rendrait moins saisissant le côté démonstratif. D'ailleurs, le défaut de proportion s'amoindrit considérablement lorsqu'on considère le magma igné représenté comme un *foyer périphérique*, inclus au sein de l'écorce terrestre, dont la partie supérieure, alors seule représentée ici, ne constituerait plus qu'une minim fraction.

La proximité relative, parfois immédiate, de la mer dans des sites pareils avait fait croire, non pas tout simplement que la distribution très générale des volcans le long de certains rivages maritimes montagneux est essentiellement due à l'accident tectonique et *à ses conséquences altimétriques*, mais elle avait porté les géologues à admettre que la proximité de la mer — simple corollaire de la production de zones déprimées, voisines de relèvements montagneux — devait être considérée comme un facteur *agissant*, source de l'intrusion des eaux marines, dont la réaction souterraine, au contact du réservoir *D*, aurait *provoqué* le phénomène volcanique avec ses colossales sorties de vapeurs d'eau, etc.

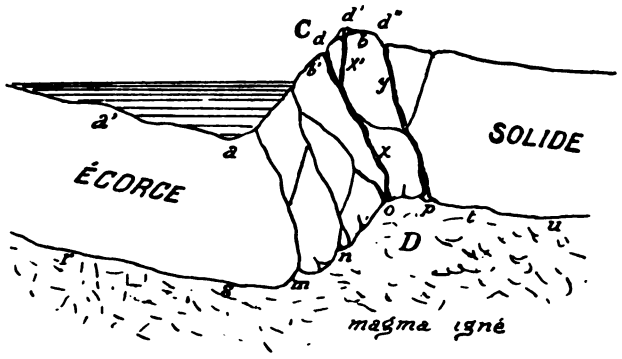

FIG. 1. — *Dispositif pouvant servir indifféremment à illustrer l'hypothèse du magma igné considéré comme « feu central » ou « circumcentral » en présence de l'ensemble de l'écorce terrestre, et l'hypothèse d'une masse ignée laccolithique (foyer périphérique) recouverte par la partie superficielle, seule plissée et fracturée, de cette même écorce, alors représentée partiellement dans son épaisseur.*

Écartant ce point de vue accessoire, erroné si on le considère comme une donnée générale, et revenant à la figure schématique, bien connue, représentée ci-dessus, n'y lit-on pas clairement que les mouvement et glissement des voussoirs corticaux terrestres, leurs ruptures d'équilibre, chutes et effondrements devront se produire *de préférence* précisément dans les régions disloquées telles qu'en *m n o p*, plutôt que dans les régions latérales à allures régulières *r s t u*, non en rapport avec les parties disloquées et faillées en connexion avec l'accident tectonique?

Pour les partisans du feu central donc, les phénomènes mécaniques de frottement, de glissement, d'effondrement et de chutes internes des zones rocheuses cristalliniennes profondes, libérées et amenées ainsi, par les simples lois de la pesanteur, en contact avec les régions du magma igné, se produiront fatalement avec plus de fréquence et

d'intensité que partout ailleurs, précisément aux points où la structure disloquée de l'écorce terrestre aura donné naissance aux volcans de la surface actuelle. Il en résulte que les processus spéciaux invoqués par les thèses de MM. Gautier et Brun, d'une part, et van Ertborn, de l'autre, se produiront de manière *à affecter précisément les régions disloquées où se trouveront géographiquement localisés la plupart des volcans.*

Pour ceux qui, ayant abandonné l'hypothèse du feu central, admettent une mer ignée entourant un noyau soit solide, soit présentant à la fois une densité et une viscosité toutes spéciales, le raisonnement restera exactement le même que dans le cas précédent, avec cette différence que les volcans et leurs cheminées laviques ne communiquent plus alors avec le noyau central igné, mais avec une masse fluidique circumcentrale, qui, dans la figure ci-dessus, resterait le magma igné *D*. Les partisans de cette thèse ne trouveront pas plus d'objection que les précédents à l'adoption des vues nouvelles dont s'illumine la question du volcanisme.

Il pourrait être utile, pour répondre d'avance à certaines objections, de signaler rapidement pour quels motifs il est des volcans, dont le type est fourni, par exemple, par ceux d'Hawaï, qui n'obéissent en rien au processus explosif qui est spécialement visé dans les travaux de MM. Gautier, Brun et van Ertborn. Les raisons en peuvent être multiples, mais il suffira, pour le moment, d'en signaler une qui ne paraîtra pas sans valeur, d'autant plus qu'elle s'applique précisément à ces volcans d'Hawaï qui contrastent si vivement avec les volcans à régime dit explosif.

Le Pacifique constitue une immense et profonde cuvette, dont les bords sont jalonnés de près par de nombreuses traînées et séries de volcans et de chaînes volcaniques, généralement du type explosif et qui, situés sur des reliefs montagneux ou sur de puissants replis sous-marins à sommets émergés, constituent précisément des points faibles et disloqués, sinon de l'écorce terrestre considérée dans son épaisseur tout entière, comme le ferait croire, dans sa version classique, le croquis de tantôt, du moins de ses *régions solides superficielles*, ainsi qu'on le verra plus loin, et sous lesquelles des matières ignées laccolithiques s'étendent vraisemblablement, suivant les vues, qui seront rappelées tantôt, de M. le Dr A. Stübel.

Les phénomènes de dislocation fréquente, de rupture d'équilibre, d'effondrement ou de glissement et, par conséquent, d'élévation de température et aussi tout le *processus source de l'éruption explosive* est

donc bien indiqué comme devant régner tout autour de cette garniture périphérique de volcans encerclant les bords, plissés et disloqués, de l'énorme cuvette de l'océan Pacifique. Mais les volcans d'Hawaï, isolés *en plein centre* du Pacifique, sont, eux, situés sur un léger accident, très localisé, appartenant à la partie centrale, très déprimée, de cette profonde cuvette. Il y a là, conformément aux vues de Suess, une zone étendue d'effondrement lent et de pression maximum et continue, agissant sur la plus grande partie de la croûte infrapacifique qui repose sur le vaste lac ou foyer igné auquel paraît devoir correspondre la dépression du Pacifique. Sur d'immenses étendues, tout autour d'Hawaï, règnent d'uniformes et profondes plaines sous-marines, dont le soubassement ne semble dérangé par aucun accident tectonique appréciable. Il n'est plus question ici de points faibles, de dislocations, de glissements de voussoirs pour la partie de l'écorce qui sépare le plancher de l'abîme maritime du plafond de la mer ignée qui s'étend au-dessous. Il n'y a donc pas non plus, dans ces parages, de phénomènes de réchauffement de roches amenant tout le cortège de productions gazeuses et de phénomènes explosifs des régions disloquées en cours de travail localisé avec et par l'accident tectonique. Il y a là, au milieu du Pacifique, une pression colossale, *uniforme* et *continue*, qui s'exerce de haut en bas, une tendance à l'affaissement graduel de tout le centre de la cuvette, qui n'a pas besoin du « compresseur gazeux » pour faire écouler lentement de temps à autre par ses cheminées d'Hawaï le trop-plein de lave, qui sort paisiblement et par périodes irrégulières, suivant le jeu du phénomène d'affaissement pressant sur cette région centrale des eaux maritimes et de la mer ignée sous-jacente tout à la fois. Aussi la lave des volcans d'Hawaï s'écoule-t-elle simplement par trop-plein : telle la couleur fluide émergeant doucement d'un tube métallique lentement pressé par les doigts du peintre.

Le gaz hydrogène, dont la fluidité très spéciale des laves basiques d'Hawaï ne contrarie pas le dégagement, y est en minime quantité, précisément parce qu'il n'a guère l'occasion de se former dans des profondeurs peu disloquées et vierges, pour ainsi dire, des réactions décrites par MM. Gautier et Brun pour les régions de la masse cristalline profonde sujette à des phénomènes locaux de réchauffement. De plus, les dimensions colossales de la cheminée et du cratère concourent aussi, dans les volcans d'Hawaï, à un éparpillement des éléments gazeux, ce qui différencie nettement ce cas de celui des étroites cheminées de la plupart, sinon de tous les volcans explosifs. Et la conséquence toute naturelle, tant de cette pauvreté relative d'hydrogène que de cette

largeur des conduites d'amenée dans les volcans d'Hawaï, explique l'absence du caractère explosif et l'absence relative, ou tout au moins le très faible développement, de la vapeur d'eau.

Le cas des volcans à laves oscillantes, débordantes et à manifestations non explosives, des îles Hawaï, a donné lieu, dans les lignes qui précèdent, à une assez longue incidente, qui doit maintenant faire place au rappel d'une thèse bien différente des deux précédentes pour ce qui concerne la genèse et la structure de l'écorce solide du globe. C'est celle exposée par M. le Dr A. Stübel et qui a fait l'objet de communications de la part de MM. W. Prinz et E. Van den Broeck à la séance de novembre dernier (1). Il s'agit de la lumineuse conception des foyers périphériques de matières ignées qui se seraient injectés, en forme de laccolithes, successivement superposés, dans toute l'épaisseur de l'écorce terrestre, surtout infrasédimentaire, et dont les derniers, les moins étendus et les plus dépourvus de communications restées ouvertes avec les foyers ignés sous-jacents, voire même avec l'admissible région ignée circumnucléaire, sont ceux qui alimentent encore les volcans actuels.

La figure 2 ci-contre rappelle et synthétise ces vues qui, ainsi que je l'ai fait sommairement remarquer (2), paraissent pouvoir se concilier fort bien avec un grand nombre de faits difficilement explicables avec les autres conceptions que l'on s'était faites jusqu'ici de la genèse et de la structure de l'écorce terrestre.

Le point capital à considérer dans l'application des vues de M. Stübel à l'explication nouvelle des processus éruptifs explosifs, c'est d'abord que, par opposition aux cas précédents, l'intrusion, au sein de l'écorce et de ses régions cristallines profondes, des masses laccolithiques ignées, y amène, sans déplacement ni mouvement quelconque des roches échauffées, les conditions d'élévation de température qui provoquent tout le processus volcanique décrit antérieurement.

Ce ne sont donc plus ici des paquets rocheux qui, par glissement, cheminement ou effondrement, descendent se réchauffer sous l'influence ou au sein des régions ignées sous-jacentes : c'est la *chaleur véhiculée* par l'intrusion *ascensionnelle* des masses ignées « laccolithiques » qui atteint elle-même les roches sus-jacentes.

(1) W. Prinz, *La genèse et la structure de l'écorce solide du globe d'après Stübel;* E Van den Broeck, *Quelques remarques à propos des vues de M. le Dr A. Stübel sur la genèse et la structure de l'écorce solide du globe, et des conséquences géologiques de cette thèse.* (Bull. Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol., t. XVI, 1902. *Pr.-Verb.*, pp. 587-592 et 594-602.)

(2) Voir note 1 ci-dessus. (*Quelques remarques*, etc.)

Mais il y a plus : Si l'élévation de température d'une roche cristalline peut et doit produire, lorsqu'elle est suffisante, ces phénomènes de dégagement d'eau de constitution et de gaz combustibles dont MM. Gautier et Brun ont si judicieusement surpris le mécanisme et mis en relief la portée processive volcanique, il est ici un autre élément, invoqué par divers auteurs, qui semblerait, d'après eux, pouvoir entrer en jeu dans la thèse de M. Stübel, et qui viendrait ajouter son action à celle du processus précédent. C'est la manifestation bien connue dans les laboratoires comme dans les ateliers d'orfèvrerie sous le nom de « rochage ». Au moment de se figer, en se refroidissant, les magmas métalliques jouissent de la propriété de *se gonfler* à l'instant où ils passent de l'état liquide à l'état solide et, corrélativement, il y a *expulsion des gaz occlus*, qui s'échappent sous forme d'une véritable explosion.

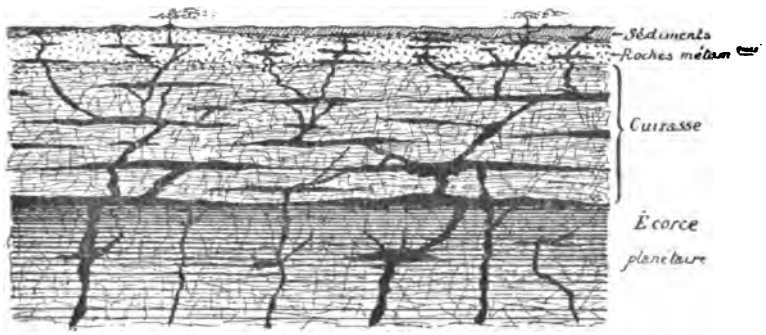

FIG. 2. — COUPE D'UNE PARTIE DE L'ÉCORCE TERRESTRE, SUIVANT LES VUES DE M. STÜBEL.

En bas, écorce planétaire de premier refroidissement. Au-dessus, la cuirasse éruptive et ses foyers périphériques de premier ordre. La cuirasse, encore chaude, s'est recouverte de roches métamorphiques et cristallines, dues à l'intervention des agents atmosphériques. Enfin, les eaux marines ont donné naissance aux couches fossilifères recouvrant le tout. Les foyers périphériques de dernier ordre se sont constitués jusque dans les sédiments, et nos volcans actuels sont alimentés par eux.

Bien que l'application de ces phénomènes de laboratoire aux magmas *rocheux* ignés et notamment aux magmas silicatés fondus soit vivement contestée par divers volcanologistes, Stübel et les défenseurs de sa thèse s'en sont emparés comme d'un argument assuré, et ils paraissent vouloir baser même exclusivement sur le prétendu *gonflement*, qui d'après eux serait dû au refroidissement des masses ignées laccolithiques, l'expulsion des laves à la surface terrestre.

Des spécialistes, et non des moins éminents, contestent toutefois une

telle assimilation au « rochage » des lingots métalliques, assimilation défendue, cependant, dans d'importants traités classiques, tels que celui de M. A. de Lapparent. M. Fouqué veut bien m'écrire à ce sujet qu'il a constaté maintes et maintes fois par la voie expérimentale ce que bien d'autres ont dû vérifier comme lui, savoir que les silicates fondus, loin de gonfler au refroidissement, *diminuent au contraire de volume* en se solidifiant, soit sous forme vitreuse, soit plus spécialement encore sous forme de cristaux.

Devant des énonciations aussi divergentes, on ne peut que réclamer des éclaircissements nouveaux et se borner à faire remarquer que cette donnée controversée serait à grand tort considérée, par les partisans de la thèse Stübel, comme un *élément essentiel* du bien fondé des vues d'ensemble de cet auteur.

L'assimilation du processus de refroidissement des amas ignés laccolithiques à celui de la solidification de lingots métalliques peut, sans difficulté aucune, être éliminée de la thèse Stübel sans nuire en rien à l'exactitude de celle-ci. La sortie lente des laves, de même que le brusque phénomène explosif, s'expliquent aisément sans faire intervenir en rien le refroidissement des amas laccolithiques, et cela par l'intervention des facteurs exposés tant dans la thèse d'A. Gautier que dans celle de M. van Ertborn.

L'application des phénomènes du rochage au refroidissement des masses ignées laccolithiques, évoquées au sein de l'écorce terrestre par la thèse du Dr Stübel, constituerait donc, si elle est fondée, simplement un élément supplémentaire possible, non seulement d'actions mécaniques, dues à de tels phénomènes de gonflement (pouvant peut-être accessoirement être invoqués dans la genèse de certains tremblements de terre), mais encore de production gazeuse et notamment d'hydrogène et d'autres gaz combustibles, concourant, par ce processus spécial, à la réalisation des vues de MM. Gautier, Brun et van Ertborn.

Quant au phénomène de gonflement invoqué pour la phase de refroidissement du magma, s'il est justifié, il serait tout au moins l'une des causes des contre-pressions internes amenant la lente expulsion lavique du cratère des volcans.

Le paisible phénomène de montée ou d'émission lavique externe serait de temps à autre interrompu, voire même remplacé, par les phases temporaires et accidentelles de violents phénomènes de production et de foisonnement de gaz internes, surchauffés et comprimés, dont la brusque détente, à la sortie du magma lavique du cratère, constituerait à la fois le processus explosif externe, projecteur et

pulvérisateur, et le phénomène de reconstitution aqueuse, origine de la vapeur d'eau des éruptions volcaniques.

L'action « éventuelle » et discutée des phénomènes de refroidissement constituerait tout au plus l'introduction d'un facteur dont la thèse Stübel peut parfaitement se passer. Le facteur principal n'en restera pas moins fourni par la combinaison du processus des « compresseurs à air » invoqué par M. van Ertborn avec celui des phénomènes de dégagements gazeux dus au réchauffement des roches cristallines, invoqué par MM. A. Gautier et Brun.

En résumé, quelle que soit la manière de voir que l'on adopte au sujet de la genèse et de la constitution de l'écorce terrestre : que l'on soit partisan du feu central, d'un océan périphérique igné entourant un noyau solide, ou des foyers périphériques localisés et étagés de M. A. Stübel, aucune de ces manières de voir n'est le moins du monde inconciliable avec l'application des faits constatés par les expériences de laboratoire, savoir que sous l'influence d'une certaine *élévation de température*, les roches cristallines de types très divers et constitutives des régions profondes sous-jacentes à la série sédimentaire, dégagent, avec une partie de leur eau de constitution, des gaz combustibles, parmi lesquels domine l'hydrogène.

D'autre part, il reste à vérifier si, sous l'influence de *refroidissements locaux*, au contraire, les matières ignées internes peuvent réellement se gonfler et tendre à laisser sortir par leurs exutoires naturels (les volcans), outre des flots de laves, les gaz combustibles exhalés par ce phénomène de « rochage » en grand, opéré par la solidification laccolithique d'îlots corticaux de magma igné.

S'il fallait, comme le pensent M. Fouqué et d'autres volcanologistes, abandonner ces dernières vues, cela n'enlèverait qu'un facteur secondaire au mécanisme de la production gazeuse, qui alors resterait attribuée soit à la composition des laves elles-mêmes, subissant certaines influences et devenant foisonnantes, soit aux phénomènes de réchauffement des roches cristallines, invoqué par MM. A. Gautier et Brun.

Dans l'un comme dans l'autre cas, le processus explosif se résoudrait tout d'abord en une formidable poussée, essentiellement gazeuse, à détente subite à son arrivée au jour, source de tout le mécanisme éruptif à projection externe chaque fois qu'il y a communication au dehors.

Quant à la lente ascension des laves qui suit et sépare les « explosions » gazeuses, elle n'a nullement besoin pour s'expliquer du gonflement interne de refroidissement invoqué par M. Stübel et ses adeptes.

Elle est due aux contre-pressions produites par la *différence de densité* entre les laves de la cheminée, fortement imprégnées de gaz à haute pression, et les matières ignées des régions latérales et circonvoisines de sa base. Enfin, elle paraît devoir être due en même temps *à la force propulsive et élévatoire des gaz* injectés dans la lave et agissant à la manière d'un injecteur Giffard.

Que la roche descende vers la chaleur ou que la chaleur monte vers a roche, ou enfin que ce soit au contraire le refroidissement du magma qui agisse, peu importe : le résultat est le même. Qu'il y ait dans l'écorce terrestre une vaste série de phénomènes de tension, de retrait, de ruptures d'équilibre, essentiellement traduits par des effondrements de voussoirs et de fragments disloqués, comme le veut peut-être trop exclusivement Suess; qu'il y ait ou qu'il y ait eu au-dessus des foyers périphériques, de hauteur et d'âges divers, des localisations simplement « endodermiques » de ces mêmes phénomènes tectoniques : plissements, glissements, charriages et dislocations quelconques n'ayant nullement affecté les énormes épaisseurs des régions sous-jacentes de l'épaisse cuirasse terrestre rigide, restée non plissée, ni affectée dans son ensemble, tout cela se concilie indifféremment avec les thèses ici présentées dans leur intéressante connexion. Le fait capital est que toutes ces vues d'ensemble, si divergentes qu'elles paraissent, s'accordent sur ce point essentiel qu'elles permettent certainement aux roches cristalliniennes profondes d'être influencées par la chaleur et de dégager leur eau et leurs gaz de constitution. Le point qui paraît devoir rester en suspens est de savoir si, adventivement, ces vues permettent aussi d'admettre que des amas laccolithiques de matière ignée, soumis au refroidissement, peuvent concourir aux mêmes résultats, base des manifestations de l'ascension lavique et surtout du processus initial éruptif explosif.

Il convient de remarquer que le raisonnement des pages 20 à 27, qui montre, aussi bien pour les partisans du feu central que pour ceux d'une mer ignée circumcentrale, que les régions de cassure et de plissement de l'écorce solide avec exutoires volcaniques sont forcément celles où doivent s'élaborer les phénomènes invoqués par MM. Gautier et Brun, s'applique *avec bien plus de force encore* aux dispositifs de la thèse Stübel, d'après lesquels, si nous nous reportons à la figure 1, le magma igné *D* représenterait simplement un foyer périphérique igné, très excentrique par rapport à l'ensemble de l'écorce terrestre, dont la partie représentée par la figure constituerait seulement une zone absolument superficielle, seule plissée et fracturée.

Il y a dans l'ensemble des diverses considérations qui précèdent matière à d'intéressantes discussions, et j'espère que des confrères plus autorisés en la matière voudront bien reprendre l'examen détaillé de ce captivant sujet et donneront au débat toute l'ampleur qu'il comporte.

ANNEXE (1).

Quelques jours à peine après la séance du 20 janvier 1903 à laquelle a été faite la présente communication, a paru, dans le numéro daté du 21 janvier 1903 du tome III de la *Revue des questions scientifiques*, le compte rendu d'une conférence de M. *A. de Lapparent* intitulée : *L'Éruption de la Martinique*, causerie faite le 30 octobre 1902, à Liége.

J'ai eu le regret de ne pouvoir assister à cette conférence et je n'en connaissais aucun compte rendu. Aussi ai-je été charmé, en prenant connaissance de cet exposé de mon savant confrère de Paris, de constater que M. de Lapparent, se basant sur le caractère peu fusible et essentiellement vacuolaire des débris andésitiques et ponceux rejetés par le Mont-Pelée, s'est attaché à démontrer *le rôle prépondérant de l'élément gazeux* et a expliqué par la lutte entre une lave tenace et visqueuse et les poussées gazeuses, les sorties latérales et le caractère explosif des phénomènes observés. Bien que M. de Lapparent paraisse, tout au moins dans la première partie de son exposé, rester avant tout partisan d'un vaste noyau central igné, soit fluide, soit soumis, par l'énormité des pressions, à un état particulier de consistance, et qu'il admette la communication permanente de cet océan igné central ou circumcentral interne avec l'extérieur, par la voie des volcans, il n'en arrive pas moins à la très rationnelle conclusion suivante :

Dans tous les appareils volcaniques, quels qu'ils soient, le fait dominant, essentiel, est l'ascension simultanée de la lave ou pierre fondue et des gaz ou vapeurs qui l'accompagnent. Les deux phénomènes ne sont pas indépendants ; leur liaison est intime. Et comme toujours la montée de la lave dans les cheminées volcaniques est précédée par une violente poussée gazeuse, il est permis de dire que le *volcanisme*, c'est-à-dire l'apparition à la surface du foyer interne d'énergie, a pour cause essentielle *la tendance des gaz mélangés à la matière ignée à se séparer d'elle*, ce qu'ils ne peuvent faire qu'en l'entraînant partiellement avec eux.

Par cette importante et très suggestive déclaration, si parfaitement fondée, qui reconnaît la nature gazeuse du facteur produisant l'élévation

(1) Texte complémentaire fourni pendant l'impression.

du flot lavique et qui montre l'association des deux éléments fonctionnant d'après le principe du « compresseur à air » des puits artésiens, M. A. de Lapparent se montre donc tout prêt à admettre à la fois les vues et la portée des expériences de MM. Gautier et Brun, en même temps que la justesse de la comparaison que vient d'énoncer M. van Ertborn.

Sans faire aucune allusion cependant aux curieuses recherches de M. A. Gautier, son collègue de l'Institut, et laissant entièrement de côté l'*échauffement* des roches « cristalliniennes » et la production gazeuse qui s'ensuit, M. A. de Lapparent ne mentionne que les émanations gazeuses produites par le *refroidissement* des magmas et par la diminution corrélative des pressions. Après avoir, avec infiniment de raison, repoussé la thèse d'une intrusion des eaux marines dans le processus éruptif, après avoir montré que la lave contient emmagasinés, au même titre que ses divers éléments lithologiques, *des gaz et des vapeurs qui lui sont propres* et ne provenant pas d'une source extérieure, M. de Lapparent, tout en conservant à la VAPEUR D'EAU un rôle dominant que l'on a vu en réalité devoir être attribué à l'HYDROGÈNE venu des profondeurs, admet que les *diminutions de température et de pression* sont les causes du départ de ces gaz et vapeurs ; en un mot, c'est le phénomène du « rochage », dû au refroidissement des masses ignées, qu'il considère comme la *cause primordiale* des exhalaisons de gaz et de vapeur déterminant le processus éruptif. Puisque cette assimilation au phénomène de rochage, invoquée naguère par Fournet, admise par MM. de Lapparent, Stübel et d'autres, se trouve combattue par divers spécialistes, il convient qu'une discussion préalable sur ces opinions contradictoires soit ouverte, afin de permettre que l'on sache définitivement à quoi s'en tenir sur ces énonciations opposées.

On a vu, par l'exposé qui précède, que si les phénomènes de REFROIDISSEMENT et de *diminution de pression* des magmas internes peuvent éventuellement constituer l'une des causes d'émanations gazeuses, il convient en réalité d'attribuer un rôle à la fois moins discutable et plus important aux phénomènes de RÉCHAUFFEMENT et d'*augmentation de pression* dans les régions de contact et d'influence des roches cristallines et des magmas ignés. Ces derniers phénomènes produisent à un haut degré les émanations gazeuses invoquées et l'action intensive d'énormes quantités d'hydrogène accompagné d'autres gaz combustibles, dont l'*énergie expulsive* et les hautes pressions — si justement identifiées aux effets du compresseur à air des puits artésiens — justifient bien

mieux encore que les phénomènes du refroidissement toutes les manifestations du processus volcanique explosif.

Il semble que M. de Lapparent hésite à admettre ouvertement ce qui s'impose cependant déjà à son esprit subtil; c'est que les gaz des cheminées volcaniques sont essentiellement, ou tout au moins principalement, constitués par de *l'hydrogène* et par d'*autres gaz combustibles*, et qu'enfin la vapeur d'eau n'existe dans l'appareil volcanique qu'à partir surtout de la combinaison chimique qui, *au sortir du bain lavique*, l'*y fait naître*, en mettant en présence de l'hydrogène surchauffé et comprimé, venant des profondeurs, l'oxygène atmosphérique, grâce auquel la *reconstitution aqueuse* s'opère, avec processus explosif, aidé d'ailleurs par les manifestations électriques qui refont, en proportion grandiose à la sortie du cratère, l'expérience classique du pistolet de Volta.

Dans sa conférence sur l'éruption de la Martinique, M. A. de Lapparent signale aussi le récent travail que Suess a consacré aux sources thermales, dont certaines, du type de Carlsbad, sont rapportées par cet auteur à ce qu'il appelle des *eaux juvéniles* ou eaux « fossiles » n'ayant tiré aucun élément ni de nos mers actuelles, ni des eaux d'infiltration des eaux météoriques (1). Étant donné que l'immense volume de vapeur d'eau fourni par les volcans trouve ses origines *dans les régions internes du globe* et non, comme on le croyait jusqu'ici, dans les eaux de la mer ou dans les eaux d'infiltration, Suess conclut avec raison que loin d'être alimentée par les eaux marines, chaque éruption contribue à augmenter le volume de la mer, en l'enrichissant à la fois en eau et en chlorure de sodium.

Le grand processus auquel a contribué au travers des âges géologiques et autrefois avec une ampleur colossale, l'ensemble des manifestations volcaniques du globe, est en somme, dit M. le Prof^r Suess, et affirme après lui M. de Lapparent, *le départ des gaz contenus dans le noyau terrestre*, et la nature nous montre la réalisation d'un tel processus aussi bien dans le jeu du refroidissement d'une masse importante d'acier que dans les phénomènes présentés par les facules solaires.

Il est intéressant de constater qu'en terminant son exposé, M. de Lapparent, tout en ne faisant pas allusion à M. A. Stübel ni à sa thèse

(1) SUESS, *Ueber heisse Quellen*. (VERHANDL. D. GESELLSCH. DEUTSCHER NATURFORSCHER UND AERTZTE, 1902. Carlsbad.) — Voir la reproduction de cette intéressante étude, découpée en trois articles insérés sous ce même titre dans les n°s 690, 691 et 692 du tome XIV (1903) de la revue berlinoise : *Prometheus*.

de la genèse et de la constitution de l'écorce terrestre, s'exprime cependant dans des termes permettant d'entrevoir une adhésion prochaine, au moins partielle, aux vues du savant observateur allemand.

En effet, après s'être, au cours de sa conférence, déclaré partisan de la thèse d'un vaste noyau central igné, ou du moins d'un océan igné circumcentral, M. A. de Lapparent, reconnaissant, en raison du taux connu de l'augmentation de la température avec la profondeur, que ce ne peut guère être qu'à 50 ou 60 kilomètres sous nos pieds que régnerait la chaleur nécessaire à la fusion des roches, ajoute :

On se figure difficilement que les volcans puissent s'alimenter directement, par une cheminée plus ou moins étroite, à une nappe aussi profonde. Il est bien plus naturel d'admettre *qu'il s'est créé de longue date, dans les parties faibles de l'écorce, des réservoirs d'une certaine importance, restés sans doute en relation avec le noyau central, mais constituant, à moindre distance de la surface, des amas suffisamment indépendants les uns des autres.* On s'expliquerait bien ainsi la différence d'allure des divers districts volcaniques, ainsi que l'élaboration qui s'est accomplie, à travers les âges géologiques, au-dessous de la plupart des centres éruptifs, en permettant l'arrivée à la surface, suivant le temps, de laves tantôt fluides, tantôt visqueuses et inégalement chargées de principes actifs.

Ceci revient à admettre très explicitement le bien fondé de certaines des vues de M. le Dr A. Stübel, exposées dès 1897 dans l'étude de cet auteur consacrée aux volcans de l'Ecuador (1), et il n'était pas inutile de montrer ici la marche lente mais sûre que font ces idées nouvelles dans l'histoire des progrès d'une Science dont notre illustre confrère, M. A. de Lapparent, a la brillante spécialité de se faire un des vulgarisateurs et des hérauts les plus compétents et les plus autorisés.

Qu'il me soit permis, en terminant, de refléter ici utilement certaines objections que m'a énoncées M. de Lapparent par rapport aux vues de M. Stübel, dont il accepte cependant sans difficulté la thèse des foyers périphériques isolés.

Dans une correspondance toute récente sur ce sujet, M. de Lapparent me fait remarquer que les vues du savant volcanologiste allemand

(1) Dr A. Stübel, *Die Vulkanberge von Ecuador geologisch-topographisch aufgenommen*, avec une carte en deux feuilles. Berlin, A. Ascher et Cie, 1897. — Voir dans les Traductions et Reproductions (pp. 51-81, pl. IV) du tome XIV (1900) du *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, le résumé fait par M. W. Prinz des théories d'intérêt général contenues dans cet ouvrage.

lui paraissent en contradiction avec ce fait indéniable, si bien constaté en Scandinavie, en Amérique, en Asie, que partout où il y a de l'Archéen authentique, cet Archéen est effroyablement disloqué et injecté de roches granitoïdes, non par l'effet de dérangements ultérieurs, mais comme condition normale de sa formation. On peut signaler comme exemple l'Archéen si disloqué de Finlande, qui supporte du Cambrien, demeuré horizontal depuis lors.

Jamais, me fait remarquer M. de Lapparent, une pareille condition n'eût pu se produire, si à l'époque archéenne il y avait déjà eu dans la constitution du globe l'écorce planétaire et l'énorme cuirasse invoquées par la thèse Stübel. Sur un pareil support, les couches archéennes n'auraient jamais eu la mobilité que trahit leur allure actuelle.

L'excès de précision que tend à vouloir fournir la thèse Stübel à bien des points de vue sur lesquels il semble que l'on ne puisse encore entrevoir que des généralités, constitue une autre objection que je relève dans les appréciations qu'a bien voulu me communiquer M. de Lapparent. D'autre part, la thèse Stübel ne tient guère compte, que comme de phénomènes locaux et plutôt négligeables, des étroites relations qui paraissent s'établir nettement et de plus en plus intenses entre la sismicité et les dislocations de l'écorce terrestre, relations qui s'imposent comme un élément primordial, qu'il est impossible de négliger. Il suffit pour s'en convaincre, de prendre connaissance de la suggestive étude que vient de publier le professeur *J. Milne*, dans le numéro de janvier 1903 du *Geographical Journal*, sous le titre : *Seismological Observations and Earth Physics* (pp. 1-25 avec carte hors texte).

Nombreux d'ailleurs sont les points de vue à considérer dans leurs relations intimes avec l'étude des phénomènes volcaniques et avec celle de la genèse et de la constitution de l'écorce terrestre. S'il est avantageux pour les progrès de la Science de soulever des discussions, de présenter des points de vue nouveaux, il importe de ne considérer comme démontrées et acquises que les thèses ayant victorieusement passé par le crible d'une critique judicieuse, qui en puisse élaguer au besoin les parties sujettes à caution.

C'est dans cet ordre d'idées que m'a répondu M. *A. de Lapparent* lorsque, comme conclusion d'échanges de vues sur les thèses prérappelées, il m'a autorisé à reproduire ici l'exposé synthétique des données fondamentales qu'il considère comme acquises :

Mobilité, prouvée à travers tous les âges géologiques, de certaines parties de l'écorce terrestre, dessinant de bonne heure des compartiments

dont les bords disloqués deviennent les voies de communication de l'extérieur avec l'énergie interne.

Action permanente de cette énergie qui, vraisemblablement, à mesure que l'écorce augmente d'épaisseur, tend à se manifester de plus en plus par des foyers distincts (foyers périphériques du système Stübel).

Élaboration progressive de ces foyers avec départs de gaz se produisant à des époques critiques et engendrant la *volcanicité* sous toutes ses formes.

Tassement continuel des compartiments disloqués, engendrant la *sismicité*.

En dehors de ces données générales, tout essai de plus grande précision paraît prématuré.

P. S. Au moment où s'impriment les lignes qui précèdent, paraît à la librairie Ch. Béranger, à Paris, l'intéressant livre consacré par M. Fr. Miron à une *Étude des phénomènes volcaniques*. Il est trop tard pour pouvoir l'analyser ici, mais il convient de signaler très sommairement le suggestif chapitre II, qui présente l'exposé des principales théories des causes du volcanisme.

L'auteur passe successivement en revue les théories de M. A. de Lapparent (celle-ci telle qu'elle est fournie dans son *Traité de Géologie*), de M. F. Fouqué et de M. Stanislas Meunier.

La toute récente théorie de M. Armand Gautier se trouve ensuite exposée, ainsi que les recherches concordantes de M. A. Brun, et enfin M. Miron termine le chapitre des causes du volcanisme en signalant la théorie, si vivement controversée, mais encore opiniâtrément défendue par de rares auteurs, des influences sidérales.

A la théorie d'A. Gautier, l'auteur se borne à objecter la remarque suivante :

« Nous ne nous rendons pas compte pourquoi l'hydrogène, si abondant dans les gaz obtenus par M. Gautier, est très rare dans la colonne de fumée, où les flammes sont des phénomènes peu fréquents, et surtout pourquoi on ne le rencontre qu'exceptionnellement dans les fumerolles. »

La réponse ne paraît cependant pas difficile à fournir. Étant admis que les conditions spéciales de pression et d'élévation de température de l'hydrogène dégagé au sommet de la colonne lavique des volcans à caractère explosif le font, avec l'aide des phénomènes électriques d'ailleurs, se combiner instantanément avec l'oxygène de l'air, au moment de sa sortie, comment voudrait-on que, ainsi retransformé en eau, ou plutôt en vapeur d'eau, cet hydrogène restât encore appréciable *comme*

gaz et pût produire des flammes (1)? Il ne peut apparaître comme tel que dans les cas où sa sortie s'effectue dans des conditions de quantité minime et de pression peu élevée, et quand les laves, très fluides, telles les laves du type basaltique, ne contrarient en rien sa libre sortie, surtout lorsque celle-ci s'effectue dans des cheminées et cratères très larges. Alors l'hydrogène, se dégageant dans des conditions de pression bien différentes, pourra ne pas se combiner avec l'oxygène de l'air et fusera comme tout autre gaz, ou brûlera lentement, en produisant des flammes à la surface de la lave. L'assimilation soit au compresseur à air des puits artésiens, soit à l'action propulsive de l'injecteur Giffard, ne pourra plus être invoquée. C'est ainsi que dans les flammes s'échappant paisiblement du large lac de laves basaltiques et si fluides du Kilauea, aux îles Hawaï, M. Janssen a reconnu, par l'examen spectroscopique, outre la présence du sodium et de divers composés carburés, celle de l'hydrogène précisément. Ce gaz, dégagé ici dans des conditions bien différentes de celles où, sous de formidables pressions, il a à vaincre la résistance de visqueuses laves trachytiques ou andésitiques, ne trouve dans les larges cratères-lacs des îles Hawaï aucun obstacle, aucune contre-pression s'opposant à son libre épanchement, et il sort de la lave en fusant et en brûlant, ce qui nuit à sa reconstitution abondante et instantanée sous forme de vapeurs d'eau. On sait d'ailleurs que les colossales productions de vapeurs qui caractérisent les volcans dits explosifs sont réduites, aux îles Hawaï, à des manifestations de très minime importance et même pour ainsi dire nulles. Le caractère explosif, les violentes projections diverses et la production abondante de vapeur d'eau sont trois éléments qui *manquent* dans le cas des manifestations volcaniques des îles Hawaï, pour cette bonne raison que l'hydrogène des profondeurs n'est point élaboré, dans ces parages en « fond de cuvette » de l'écorce terrestre, dans les proportions de *quantité*

(1) J'extrais d'une correspondance de M. *Brun* le passage suivant : « Ma conviction au sujet du rôle de l'hydrogène dans les explosions volcaniques était faite en mars 1901, durant la période que j'ai passée auprès du cratère du Stromboli. J'ai surveillé là de près les explosions et je puis assurer qu'à ce volcan le gaz, au moment de l'explosion, ne donne pas de flammes et est *invisible*. C'est particulièrement net lorsqu'il n'y a pas de pulvérisation trop intense de la lave par l'explosion et que les blocs sont rejetés un peu gros.....

» Je me souviendrai toujours de l'impression que me fit la première explosion du Stromboli. C'était le *son* du *fulmicoton*. Or l'hydrogène seul, absolument seul, peut donner ce son brusque et déchirant lors de l'explosion. La foudre éclatant sans écho, à 4 000 mètres d'altitude, donne seule un son analogue, ce que j'ai pu contrôler lors d'un orage qui m'a enveloppé au Cervin, près de l'épaule suisse, à un peu plus de 4 000 mètres. » (*Note ajoutée pendant l'impression.*)

et de *pression* suffisantes pour donner lieu aux réactions amenant, comme dans le cas de la figure 1, et le caractère explosif et le phénomène, mentionné plus haut, de reconstitution aqueuse, au contact de l'oxygène atmosphérique. Les cheminées et cratères des volcans d'Hawaï sont d'ailleurs d'un diamètre tout à fait exceptionnel, quand on les compare à ceux des volcans ordinaires explosifs. De plus, l'*extrême densité* de ce type de lave basaltique — elle dépasse parfois 3 — constitue un autre obstacle à l'établissement des conditions qui, tant pour la lave que pour les gaz qu'elle contient, permettraient au dispositif volcanique des îles Hawaï de se trouver dans les conditions de minime densité relative, réalisées par tant d'autres volcans du type explosif, permettant l'assimilation au cas du compresseur à air. Ce dispositif du Kilauea et de ses voisins de l'archipel d'Hawaï se trouve nettement synthétisé par les figures 2 et 4 de la planche accompagnant le travail de M. van Ertborn.

Quant aux fumerolles, où, d'après M. Miron, l'hydrogène ne se rencontre qu'*exceptionnellement*, il y a lieu de faire de sérieuses réserves sur cette affirmation, assurément exagérée. D'abord, il faut tenir compte de l'évolution graduelle et prolongée qui se produit dans la nature comme dans l'intensité des dégagements gazeux des fumerolles; il faut s'assurer ensuite si l'on en a toujours bien recueilli ou observé tous les éléments successifs et surtout ceux de leurs phases maxima. Si l'on s'adresse à des fumerolles peu voisines des centres d'émission, l'hydrogène diminue fatalement par le fait même de l'éloignement de ceux-ci, qui a permis à de multiples séries de réactions, de carburations et autres, de se produire *avant* l'arrivée au jour des gaz internes ainsi modifiés.

Il convient d'ajouter que l'hydrogène a été nettement constaté dans bon nombre de fumerolles de régions volcaniques très diverses, et ce gaz a été trouvé en forte proportion, comme à Santorin, par M. Fouqué, pour les gaz fournis par des laves *soustraites à l'action atmosphérique* (1) (30 % des gaz produits lors de l'éruption de 1866; près de 57 % dans certain dégagement gazeux de 1867, etc.). En dernier lieu, il faut encore tenir compte de ce fait que la *vapeur d'eau* des fumerolles peut, aussi bien que celle émanant du cratère, n'être autre chose qu'un produit aqueux, reconstitué précisément grâce à l'hydrogène amené

(1) Les gaz ont été recueillis à la surface de la mer, au-dessus de l'extrémité de coulées laviques sous-marines, et il est à remarquer que la proportion d'hydrogène constatée à Santorin décroissait quand on s'écartait des régions centrales et principales d'émission des matières ignées, et que les gaz accessoires carburés augmentaient au contraire, sous forme de protocarbure d'hydrogène, de même que l'acide carbonique.

des profondeurs, et qui ne peut évidemment plus être retrouvé à l'*état gazeux* après ce phénomène de combinaison ayant fait, en place d'hydrogène, apparaître à l'extérieur la vapeur d'eau qui en dérive directement.

L'objection, très incidente d'ailleurs, que fait M. Miron à la thèse nouvelle et si attrayante de M. A. Gautier, ne l'empêche pas d'en faire ressortir la portée considérable, et de consacrer à son exposé une dizaine de pages de son livre, soit plus de développement qu'au texte consacré à l'ensemble de toutes les autres théories volcaniques réunies. C'est assez dire que la thèse de MM. Gautier et Brun est destinée à s'imposer fortement à l'attention des volcanologistes, à provoquer d'utiles échanges de vues, des discussions favorables à la mise au point de ces vues nouvelles et, suivant toute apparence, à recruter finalement des adeptes qui ne tarderont pas à devenir légion.

M. le *Président* remercie M. *Van den Broeck* de son très important exposé et une discussion s'ouvre sur ce sujet. MM. *Fiévez*, *Van den Broeck* et *van Ertborn* y prennent part.

Cette discussion sera reprise d'une manière approfondie après l'impression des exposés de MM. *van Ertborn* et *Van den Broeck*.

EXTRAITS DES STATUTS (revisés en février 1898).

ARTICLE 1er. — La Société prend le titre de : SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE.

ART. 2. — Elle a pour but de concourir aux progrès de la géologie et de toutes les sciences qui s'y rattachent, en y comprenant notamment la stratigraphie, la paleontologie, l'étude des roches et des minéraux, l'hydrologie, la géographie physique, ainsi que l'étude des phénomènes de la nature qui interviennent dans la formation des dépôts, dans la distribution des êtres, etc.

Elle cherchera à contribuer en particulier à la connaissance du sol de la Belgique et de celui des régions, telles que le Congo, pouvant le plus intéresser ses nationaux; elle s'efforcera de mettre en lumière leurs richesses minérales et de décrire leurs fossiles.

Elle a encore en vue de propager le goût des recherches scientifiques dont elle s'occupe et de faire apprécier *leur utilité pratique*.

ART. 73. — La Société publie un recueil périodique, de format gr. in-8°, sous le titre : *Bulletin de la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie*.

ART. 74. — Ce recueil comprend, outre les *Mémoires*, les *Procès-Verbaux des séances*, un recueil de *Traductions, Reproductions* et *Travaux divers*, des *Annexes* diverses aux Procès-Verbaux, des *Nouvelles* et *Informations diverses* (imprimées en petit texte).

Les Procès-Verbaux paraissent en fascicules au nombre de quatre à six annuellement; ils contiennent les comptes rendus des séances de géologie pure et de géologie appliquée, ainsi que les communications de peu d'étendue lues en séances et acceptées pour l'insertion.

ART. 75. — Les *Mémoires* sont réservés aux travaux originaux d'une certaine étendue et surtout à ceux réclamant des planches et des figures hors texte. Ils paraissent soit avec les procès-verbaux en volumes annuels, soit en fascicules, trimestriels autant que possible, comprenant un certain nombre de feuilles d'impression et englobant des feuilles de procès-verbaux.

ART. 78. — Le *Bulletin de la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie*, est distribué aux membres conformément aux dispositions statutaires. Les personnes étrangères à la Société peuvent s'abonner soit aux *Procès-Verbaux* ou aux *Mémoires*, soit au *Bulletin* complet, à des conditions à déterminer par le Conseil.

ART. 81. — Pour être insérée dans les *Mémoires*, toute communication doit être exposée, résumée ou lue en séance...

ART. 82. — Pour être insérée dans les Procès-Verbaux des séances, toute communication doit avoir été présentée en séance et ne point dépasser deux feuilles d'impression. L'assemblée se prononce, soit sur l'insertion *in extenso*, soit sur celle d'un résumé qui pourra être fait par l'un des Secrétaires d'après le manuscrit de l'auteur, si celui-ci ne peut s'en charger.

ART. 85. — Tout membre a le droit de demander l'insertion dans les Procès-Verbaux ou dans la Correspondance, sous sa signature ou avec ses initiales, d'articles, extraits ou analyses qui pourront être soumis préalablement à l'approbation du Comité de publication par la voie du Secrétaire général, auquel seront envoyées ces communications dans les délais fixés par un règlement spécial.

ART. 87. — Les manuscrits présentés et acceptés deviennent la propriété de la Société.

ART. 88. — *La Société, en décidant l'impression d'un travail, laisse à l'auteur toute la responsabilité de ses opinions.*

ART. 89. — Aucun nom d'espèce nouvelle fossile ne pourra être proposé dans les publications de la Société, s'il n'est accompagné d'une figure ou d'une description caractérisant convenablement l'espèce.

ART. 92. — Les épreuves des mémoires et des communications seront revues et corrigées par les auteurs, qui, selon qu'ils habitent la Belgique ou l'étranger, sont tenus de les renvoyer endéans les cinq ou huit jours au Secrétaire général. Ces délais écoulés, le Secrétaire est autorisé à passer outre et à donner le bon à tirer.

ART. 93. — Les frais de *remaniements extraordinaires*, c'est-à-dire non compris dans la *moyenne* admise dans le contrat avec l'imprimeur et dont les frais sont englobés dans le prix réglementaire de la feuille d'impression, sont *exclusivement à la charge des auteurs*.

Ceux-ci, dans leur propre intérêt, sont donc invités à fournir des manuscrits non sujets à remaniements, ni à des corrections nombreuses et successives.

ART. 94. — Les auteurs ne peuvent réclamer plus de deux épreuves en placards ni plus d'une épreuve de mise en page.

ART. 95. — Les auteurs de travaux et d'articles insérés, soit dans les Mémoires, soit dans les Procès-Verbaux des Bulletins, ont droit gratuitement à *cinquante* tirés à part conformes aux prescriptions réglementaires.

ART. 96. — Outre les exemplaires qui leur sont délivrés gratuitement, tous les membres de la Société ont le droit d'obtenir des tirés à part de leurs travaux, en nombre illimité, d'après un tarif aussi réduit que possible, arrêté par le Conseil.

ART. 98. — Les auteurs sont astreints à payer directement aux fournisseurs, d'après le barême réglementaire, le prix des tirés à part qu'ils auront demandés au Secrétaire.